

具备需求侧响应能力的分布式光伏智能微型断路器开发应用

陈慧芳 苏春宇 张 洁

国网河南省电力公司通许县供电公司 河南开封 475499

摘要: 随着分布式光伏高比例接入配电网, 当前电力系统面临负荷、电源、电网和系统等层面新的变化, 电力系统新能源调节能力严重不足, 低压配电台区出现了过电压、谐波越限等问题, 同时面临分布式光伏并网保护和防孤岛保护等安全运行问题。本文研发支撑基于分布式光伏的需求侧响应系统中的智能微型断路器, 针对分布式光伏的应用做优化, 支撑分布式光伏的柔性调控、需求侧响应、高次谐波分析以及孤岛保护等功能, 是一款采用人工智能与物联网技术, 为国家电网、智慧城市、智慧交通、智慧消防、智慧社区、智慧工厂、智慧楼宇、智慧农业等领域提供专业智慧用电解决方案, 同时为传统电气市场提供物联网+升级解决方案, 助力传统产业升级。

关键词: 分布式光伏; 智能断路器; 需求侧响应; 柔性调控; 防孤岛保护

2

引言

目前的非智能微型断路器需要手工控制, 不支持通信功能, 与台区智能融合终端不能进行数据交互, 无法对逆变器进行调控。市面上的绝大多数智能微型断路器是在传统断路器的基础上加上电能采集和数据通信功能。本文对目前国内外光伏发电并网技术的发展现状及趋势进行了梳理与分析, 研究光伏发电并网及“光-储”协同柔性调控相关核心关键技术, 并提出研制面向新型电力系统支撑分布式“光-储”协同柔性调控与保护的智能微型断路器, 可有效破解海量分散式屋顶光伏开发给配电网带来的压力和挑战, 推动和保障屋顶分布式光伏开发的快速健康发展。

一、项目采用的技术方案

本文研究在新能源领域的分布式光伏电源并网中新型智慧开关和分布式“光-储”协同柔性调控与保护技术, 通过研究分布式光伏电源的运行方式、距离保护、继电保护和分布式发电单元保护的技术方案并研制新型智能微型断路器产品, 实现光伏并网过/欠压保护、过/

欠频保护、电流速断保护和两段过电流保护, 用于并网开关装置逆功率报警及跳闸, 完成对光伏并网发电的全面监控与优化调控, 实现促进分布式能源就地消纳和全网电力平衡、增强有源配电网柔性可控能力、提升配电网的快速功率调控能力及电压稳定水平的目标, 为今后分布式光伏规模化开发提供技术支撑。(见图1)

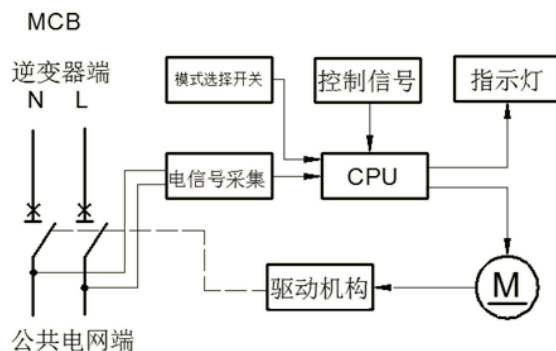


图1 项目理论原理总述

分布式能源作为重要的源节点, 实现对分布式能源的可观、可测、可控, 是构建新型电力系统的必要条件。本项目研制的智能微型断路器在光伏并网开关的基础上增加可靠控制单元、双向测量单元, 可与逆变器与储能单元信息交互, 将并网电源电能质量实时采集与处理, 并在融合终端的支持下有序调控并网光伏发电。(见图2)

光伏低压并网开关, 采用剩余电流重合闸塑壳断路器作为主体, 增加光伏专用的保护功能、HPLC+RF双模通信功能、电能质量监控功能与精确计量等电力物联网功能。用于光伏发电系统接入低压电网的智能微型断路

项目名称: 国网河南省电力公司通许县供电公司“2025年通许县科技创新及群众创新技术”(项目编号: B3179J25K002)的资助。

作者简介: 陈慧芳(1977.11--), 女, 汉族, 河南通许人, 学历: 本科, 职称: 政工师, 研究方向: 电网调度运行与控制技术。

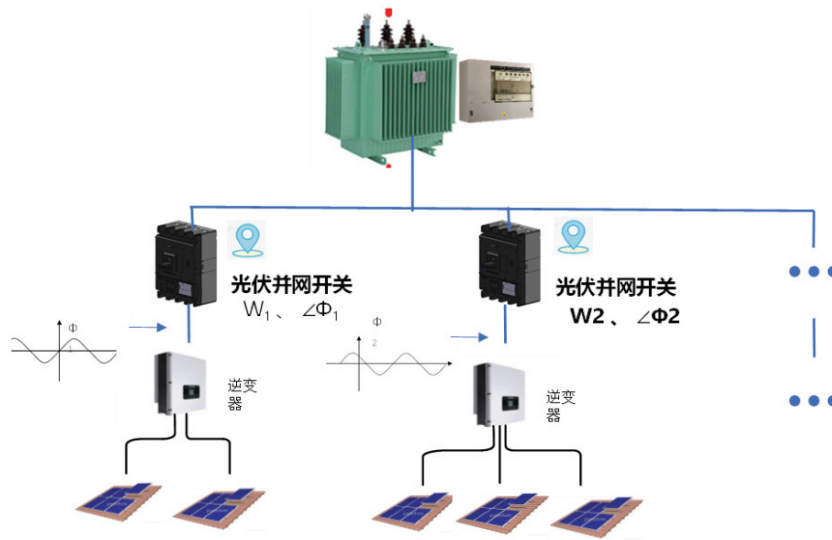


图2 智能微型断路器应用架构

器，主要包含以下功能：

a) 孤岛保护：当电网停电时，不依托逆变器本身的孤岛保护，切断光伏发电系统与低压配电网的连接；

b) 过载保护、短路保护：无论是光伏发电侧还是低压电网侧出线短路，过载时断路器切断并网连接，起到保护系统稳定的作用；

c) 电能质量监控：对并网电压与电流谐波分析，电能质量评估，为考核发电质量提供数据依据；

d) 测量功能：量测发电功率、电压、电流、频率，为全台区电力供应与负荷响应提供数据支撑。

针对传统断路器不具备智能化数据采集功能，无法实现自动化控制问题，本项目设计支撑基于分布式光伏的需求侧响应系统中的智能微型断路器。分布式光伏并网智能微型断路器保护开关，包括断路器本体、电源板和上盖，上盖盖合断路器本体，且与断路器本体围成收容腔，电源板收纳在收容腔内，收容腔内收纳自动分合闸机构和主控板，主控板和自动分合闸机构均与断路器本体电连接，主控板上设有智能控制模块、数据采集处理器和接口，其中，智能控制模块可根据具体情况控制分布式光伏并网智能保护开关的连通与断开，数据采集处理器用于实时采集所述分布式光伏并网智能保护开关的数据，接口用于实现远程控制管理。

主控板上还设有欠压延时模块，用于在欠压或失压情况下跳闸。主控板上还设有漏电保护模块。设置电流互感器，用于检测主回路电路漏电情况，当检测到分布式光伏并网智能保护开关内存在漏电现象时，启用所述

漏电保护模块进行漏电保护。

分布式光伏并网智能微型断路器保护开关在电路无电压或低电压时跳闸，检测到发电系统中发生永久故障时，将分布式光伏发电与发电系统断开，转入离网状态运行；当检测到电路中有电压时合闸，在确保发电系统在正常情况下运行时再将分布式光伏发电并网，这样可以有效防止配电设备停电检修时，用户误操作向发电系统反送电。

二、智能微型断路器研制开发

智能微型断路器的主体框架遵循国网公司“研发平台化、智能化、APP化的新型业务终端”的指导思想，采用软硬件解耦设计理念，以“国网芯”系列主控芯片作为基础核心硬件模块，集成安全策略、虚拟化、数据模型等核心技术，支撑终端设备软件APP化，赋能智能微型断路器产品边缘计算及信息处理控制能力，实现配电终端设备的即插即用、配电设备信息一二次融合，为电力泛在物联网建设赋能。

基于以上框架需求，智能微型断路器硬件上由主控芯片、交采模块、通信模块、数据存储模块、电源模块等部分组成，支持本地和远程通信，预留通信接口，在采用模块化的单一结构形式上实现集成化、内部协调配合的控制与保护功能，架构简图如下图3所示：

1) 主控模块：具有多种远距离通信控制的功能，具有交流采样、测量、故障录波等功能，具有远距离自动控制和就地控制功能，具有面板指示及机电信号报警功能，具有断相、缺相、过压、欠压、速断、过流、欠流、

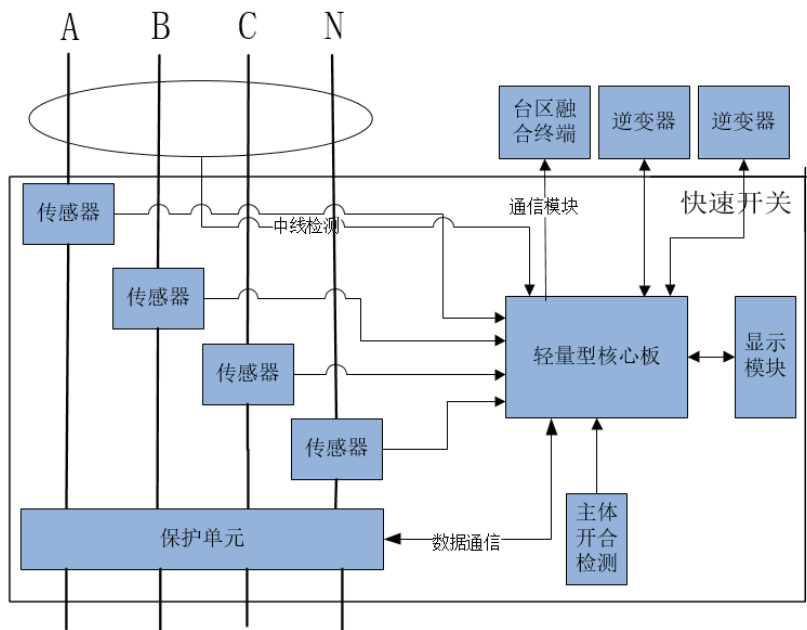


图3 智能微型断路器硬件架构图

堵转、过载，零序电流、故障连锁、启动超时等保护功能、具有触摸屏显示控制功能；

2) 交采模块（计量芯片）：实现对三相的电流和电压测量、电压和电流相序检测、电压暂降检测、过压和过流检测、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率测量等功能；具备基本数据块采集能力，包括三相电压、三相电流、瞬时有功功率、瞬时无功功率、瞬时视在功率、功率因数、电压波形失真度、电流波形失真度、电压谐波含量、电流谐波含量、频率、电量以及扩展冻结数据项、突变电流数据项、自描述数据项。

3) 通信模块：实现智能微型断路器内部模块的交互，支持开关本体向上与智能配变终端（融合终端）、向下与智能配电业务终端等终端设备的数据传输。

■主控芯片选型

智能微型断路器采用“国网芯”的主控芯片，工作电压2.6V ~ 3.6V，内核选用ARM 32位Cortex-M4F微控制器，工作频率最高200MHz，1024K字节内部闪存，工作温度-40 ~ +85℃，可为电力行业设计控制终端提供更多的灵活性。主控芯片应内置数据存储模块，支持配电路发生故障时的电流、电压和开关的开合状态、终端的配置信息及录波文件的记录与存储等。

■交流采集模块设计

交流采集模块的主要功能是将被测配电网节点处的电压、电流通过互感器电路后送给AD采集芯片进行后

续处理。可以同步采集三相电压、电流及中线电流，采样精度0.5级，采样频率6.4KHz，同时具备故障录波等功能。

■通信模块设计

为适应配电台区的场景需要，智能微型断路器的通信模块需支持HPLC本地通信和微功率无线通信2种传输方式，其中以太网接口支持通过自协商来配置与目的主机之间的传输模式，支持Auto-MDIX自动翻转功能，以适应直连和交叉2种形式的网线；通信模块还应支持智能微型断路器向上与智能配变终端（融合终端）的数据传输与交互；其中载波模组选用SCTZHP02。

配置上行通信模块，并具备RS-485通讯等外部接口，支持近距离无线及本地维护。采用模块化可插拔设计，断路器应能在不停电情况下更换上行通信模块。

■开关量输入/输出模块设计

开关量的获取是遥信功能的基础。遥信用于传输断路器状态、刀闸位置及其它开关和系统状态。开关量输出则是遥控功能的基础，具备开出功能的配电终端才可以实现对断路器、隔离开关等开关装置的远程操控。本智能终端设计实现4路数字量输入和4路数字量输出，满足遥信和遥控需要。输出回路要求继电器响应迅速，且在上电、断电过程及复杂电磁环境下能防误动。开入回路则要求动作电压合理，有配套的干扰抑制、吸收电路，使其在一定外部干扰下不发生遥信变位、误送。开关电路分为输入和输出2个部分，两路信号需要分别设计。

其中,输入信号用于获取所连接的现场继电器、断路器等触点位置信号,用于设备状态监测,而输出信号用于控制现场设备。

■电源模块设计

电源模块应根据实际需要输出电压保证智能微型断路器、通信设备以及执行开关操作时的有效供电。为了保障电源供电的可靠性和快速开关工作的连续性至少有两个输出回路。装置通过交流220V电源供电,同时使用两块12V蓄电池串联作为备用电源。电池的管理使用了集成的充放电管理模块,可以自动地进行充放电、活化、保护。

三、项目方案创新性

本文研制智能微型断路器专门针对分布式光伏的应用做出优化,能够支撑分布式光伏的柔性调控、需求侧响应、高次谐波分析以及孤岛保护等功能,与传统开关相比具有以下技术创新:

1)可靠隔离功能。公网电源停电时,并网点开关断开分布式电源并网主回路,此开关分合指示与开关触头联动,与公网电源实现可靠隔离,具有可靠隔离功能。

2)防孤岛保护功能。公网停电时,具备防孤岛保护功能,断开分布式电源并网主回路,实现合闸闭锁,闭锁后开关不可进行人工合闸操作。

3)延时合闸功能。公网恢复供电后,并网点开关实现检测并延时自动合闸功能,保证分布式电源可以及时恢复送出,提高用户分布式电源的发电效率与发电收入。

4)安全功能拓展。本项目所研制智能微型断路器具有过载、短路保护,具有自动与手动操作功能。根据公共电网端的电压和频率的变化,通过被动的检测方式判

断是否产生孤岛现象,作为光伏发电系统中孤岛现象的后备保护,提高检修人员的生命安全。

5)闭锁功能。公网电源停电时,并网点开关断开分布式电源并网主回路,与公网电源实现隔离后具备合闸闭锁功能,可防止人工合闸后影响电网检修人员的生命安全。

总结

本文研制智能微型断路器专门针对分布式光伏的应用做出优化,智能微型断路器实现电量采集和分析、数据通信、物联网应用协议等功能,提升了传统断路器的智能化水平和边缘计算能力。通过本文智能微型断路器的研制与应用,可实现防孤岛、可靠分合闸指示、隔离、失压自动分闸、并闭锁合闸、复电自动合闸等功能。智能微型断路器通过对传统低压断路器进行技术创新赋能,实现整个台区网络节点运行数据的实时监测、电能质量分析、线损分析、谐波监测及精准定位等功能,配合融合终端实现整个分布式光伏低压台区智能化。

参考文献

- [1]周孝信,陈树勇,鲁宗相,等.能源转型中我国新一代电力系统的技术特征[J].中国电机工程学报,2018,38(7):1893-1904.
- [2]许中阳,宋晓通.含高比例清洁能源的微电网多目标优化调度策略[J].分布式能源,2023,8(2):19-25.
- [3]刘洋,于海东,刘文彬,等.基于“云边端”协同的分布式光伏柔性调节体系架构[J].山东电力技术,2023,50(7):23-29.